

SÓTONYI PÉTER TAMÁS

Az állatok mozgásának elemzése

A csirke kikelésétől a Spanyol Lovasiskoláig



Sótonyi Péter Tamás
állatorvos, anatómus

A csirkemagzat, illetve az emberhez leginkább közel álló két háziállat, a kutya és a ló testfelépítésének és mozgásainak megismerésével választ kapunk arra, hogyan tudja a kiscsirke feltörni a tojás héját, vagy hogy miért képes a csikó születését követően rögtön összerendezett bonyolult mozgáskombinációkra, eltérően a lassabban fejlődő kutyától, illetve embertől. A ló testfelépítése kétkonzolos, ívhúros hídhöz hasonlítható, ez a különleges statikus rendszer teszi lehetővé, hogy álló helyzetben is képes aludni, és hogy végtagcsontjai hatalmas nyomóerőkkel, inai óriási húzóerőkkel szemben ellenállóak. A ló mozgásának ábrázolása művészettörténeti szempontból is érdekes, Székely Bertalan egyike volt az elsőeknek, aki rajzsorozataival hozzájárult a mozgásvizsgálatok fejlődéséhez. Napjainkban a kutya és a ló mozgásának elemzése a legmodernebb technikai eszközök felhasználásán alapul.

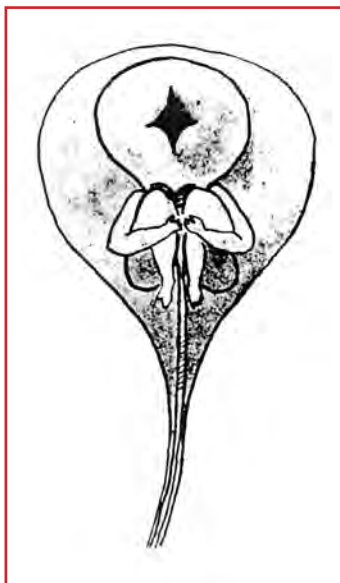
1954-ben született Mosonmagyaróváron. 1978-ban diplomázott az Állatorvostudományi Egyetemen. 1989-től az állatorvos-tudomány kandidátusa.

Pályáját az Állatorvostudományi Egyetem Anatómia tanszékén kezdte, 2001-től a Szent István Egyetem Állatorvos-tudományi Karának tanszékvezető egyetemi tanára. Az egyetem graduális és posztgraduális képzésében szerzett több mint huszonöt éves tapasztalata alapján nemzetközileg is elismert oktatóprogramok készítésével új alapokra helyezte az állatorvosi anatómia oktatását. Fontos hazai és külföldi tudományos együttműködések alakított ki.

Főbb kutatásait a neurobiológia, a fejlődéstan és a makroszkópos anatómia területén végzi. Régészeti állattanban kapcsolatban anatómiai vizsgálatokat végez háziállatok csontozatán.

A csirke kikelése – nyitány

A világon talán a legcsodálatosabb dolog, ahogy egy megtermékenyített petesejtből kialakul egy élőlény. Középiskolás korom meghatározó élménye volt Vadász János *Nyitány* című filmje, amelyben a csirkeembrió 21 napos fejlődé-



A preformáció tana



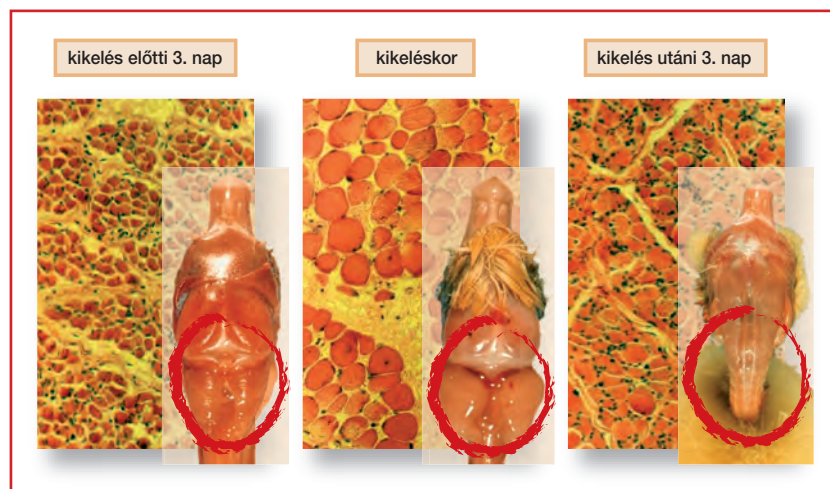
A magzat helyeződése a tojásban

sét követhetjük nyomon a kikelésig, mintegy nyolc percben. Mindehhez a zenei aláfestést Beethoven *Egmont-nyitánya* szolgáltatta. Most ezt a csodát szeretném megosztani önökkel néhány képet felvillantva. A madarak sokszikű petesejtjén, a tojássárgáján kialakul a csírapajzs, amelyen megindul az embrionális fejlődés. Létrejönnek a kezdetleges testszelvények, a velőcső kezdeménye, amely a feji rész felé kitér, aggyá alakul. A szív már nagyon korán kifejlődik – ezt az ugráló kis pontot, amely lüktet és a vért továbbítja, nevezte el Arisztotelész *punctum saliens*-nek, ugrópontnak –, majd megjelennek a végtagok kezdeményei, a szem, a csőr, a csőrről lévő kis kiemelkedés, a kopogtatásra szolgáló gyémánt. Végül azt a küzdelmet látjuk, ahogy a kiscsirke feltöri a meszes héjat és kikel a tojásból: az élet nyitányát.

A fejlődéstan történetéből számos elképzelést ismerünk az élet kialakulására, az embrionális fejlődésre vonatkozóan. Ezek közül most a spekulatív filozófiai elképzelésekre épített **preformációs doktrínát** említem meg, amelyet az embriológia, illetve a molekuláris genetika mai ismeretanyagának birtokában könnyen kezelhetünk elnéző mosollyal. A preformáció tanának hívei szerint a csírasejtben, habár miniatűr alakban, mégis minden részletet tekintve kialakult jelen van a felnőtt szervezet. A méhen belüli életben tehát a magzat nem képződik, hanem csupán növekszik, és ennek a már előgyártott kész szervezetnek a növekedése folytatódik egy ideig a megszületés után is. A preformáció tanának követői két nagy táborra szakadtak: az animalistákra és az ovistákra. Az animalisták a mozgása miatt állatknak tartott ondósejtről gondolták, hogy jelen van benne a kész szervezet, az ovisták pedig az ovumról, a petesejtről képzelték ugyanezt. Ezt az elképzelést a későbbiekben még tovább torzították, odáig, hogy a csírasejtben az összes későbbi nemzedék ultraminiatűrje benne foglaltatik. Eszerint például Ádám ősapánk spermiumában és Éva ősanyánk petesejtjében az egész emberiség valamennyi következő generációja preformáltan jelen van.

Első kutatási témám a madarak fejlődésével volt kapcsolatos. A madarak tojásból való kikelését és a tojás feltörésében szerepet játszó izom, a tarkóizom (*musculus complexus*) működését tanulmányoztam. A kikelést megelőző időszakban a madármagzat – jelen esetben a kacska, amely 28 nap alatt fejlődik ki – a magzatburkok által körülvéve csaknem az egész tojást kitölti.

A tarkóizom változása a kikelés körüli időben



A külső magzatburkot dúsan behálózó érrendszer tölti be a magzati tüdő szerepét, ezen keresztül történik a gázcsere. A magzat összegörnyedve, lábait a fejéhez húzva helyezkedik el a tojásban. A tojás hegyes vége felé irányuló csőrét magasra emelve a légkamra irányába fordítja el, és így a csőrével, illetve a csőre hátoldalán lévő kemény képződménnyel, a gyémánttal eléri a tojás mézhéját. Erre az időszakra a magzatburkok tönkremennek, így a magzat a tojás tompa végénél elhelyezkedő légkamrát átcsípve tér át a tüdőlégzésre. Majd körbeforogva a tojásban a csőrét és a csőrén lévő gyémántot hozzákopogtatja a mézhéjhoz, és egy körív mentén feltöri.

A tojáshéjat feltörő hatalmas munkát a madár egy különleges izommal, a már említett tarkóizommal, a **musculus complexusszal** végzi. Ennek az izomnak a szövettani, elektronmikroszkópos, sőt a biokémiai vizsgálatát is elvégeztük, és úgy gondoljuk, hogy ez modellként szolgálhat az állatok vagy az ember izomzatának vizsgálatához is. Az izom a tarkó területén helyezkedik el és a kikelés előtt három nappal indul gyors fejlődésnek, egyre nagyobbá válik. A kikelés időszakára, mintegy három nap alatt óriás mértékben megnagyobbodik, az izomrostok átmérője többszörösére növekedik, a benne lévő izomfehérjék, amelyek az összehúzódást végzik, megsaporodnak; a kikelés utáni harmadik napon az izom tömötté válik, alig látható, a tarkón kis szalagszerű képlet formájában fedezhető fel. Munkáját, feladatát – a tojás feltörését – elvégezte, későbbi szerepe statikus: a fej tartását végzi. A tojás feltörése után a madár a lábait kinyújtja, ezáltal a körbekopogtatott mézhéjat, az úgynevezett kupakot nyakával felemeli, leválasztja. Fejét a szárnyai alól előhúzza, kiemeli a tojásból, és kibújik.



A kikelés

Az ember és a ló kapcsolata – rövid történeti áttekintés

Az ember i. e. 3–4 évezreddel már szelídítette a lovat, mégpedig Ázsia két, egymástól meglehetősen távoli pontján: Kínában és Mezopotámiában. Kínában i. e. 2200-ban a harci szekerek elé már hat lovat is befogtak. Szemiramisz királynőnek indiai hadjárata idején több tízezer lovas katona és hadiszekér állt rendelkezésére. Az ókor leghíresebb ménese Bizutum városban volt. Tudjuk, hogy Dárius király kincseit százezer ló gyarapította. A ló, amely az emberiség kultúrájának elválaszthatatlan részévé vált, legnagyobb befolyást a hadviselésre gyakorolta. A gépek korszaka előtt, a lőpor feltalálásáig minden hódító érdekében a legtöbbet a lovak tették. A Perzsa Birodalom virágkora, Xerxész uralkodása idején rendszeresen tartottak futtatásokat, hogy a leggyorsabb lófajtákat kiválogathassák, és kedvenc passzió volt a lovaspótló. Xerxész i. e. 480-ban nyolcvanezer lovasból álló válogatott sereggel tört rá Görögországra. Az athéni tanács csak a perzsák elvonulása után határozta el a lovasság felállítását, náluk a leghíresebbek a thesszáliai lovak voltak. Nagy Sándor híres lova a csak általa megfékezhető Bukephalos volt, akinek emlékére Indiában megalapította Bukephala városát. Az ő seregében ötezer kiváló lovas teljesített szolgálatot.

Preformációs doktrína:

a 17–18. században létrejött élettani irányzat, amely szerint az ivarsejteknél a kifejlett szervezet eleve benne foglaltatik, a fejlődés csupán a már létező részek kibontakozásából áll.

Musculus complexus:

a madarak tarkótájékán elhelyezkedő, a nyakcsigolyákat a nyakszirtcsonttal összekötő izom, a fejet nyújtja, kikeléskor a mézhéj feltörésében van szerepe.



Nagy Sándor és híres lova,
mozaik, i. e. 2. század



Tiszta vérű arab ló



Cselből futamodó, hátrafelé
nyilazó magyar lovas az itáliai
kalandozások idejéből

Európában a magyarok bejövetele előtt a régi görögök álltak legközelebb a modern értelemben vett lovas művészethez. A ló kifejezte a kulturáltságot, ismerték a pedigre fogalmát és jelentőségét, bélyegezték lovaikat, ménesbélyegzőik a bikafej és az ábécé betűi voltak. A görögöknek köszönhető az első lovas kézikönyv, szerzője Szókratész tanítványa, Xenophón történetíró és hadvezér, aki kedvenc Ómegájának hátán ötezer kilométert lovagolt a perzsa háború során. Könyvében a lovaglás művészetéről és a lovasvezér kötelességéről ír, lefekteti a lovaglás művészetének ma is érvényben lévő alapeszméit. Nemcsak azt tanította, hogyan kell lovagolni, hanem azt is, hogyan kell a lovas és a ló között bajtársi viszonyt kialakítani. Az ázsiai nyereg mellett a Xenophón által lefektetett alapeszméken alapul az egész modern világ lovas tudománya. A görögök felismerték a ló jelentőségét a sportban és a kultúrában, az olimpiai játékok fő attrakciói a ló- és a kocsiversenyek voltak.

A rómaiak a lovaglást a görögöktől tanulták és továbbfejlesztették, megtanították lovaiknak a **piaffe** és a **passage** lépésmódokat. Az *equites* kiváltságos osztálya volt Róma társadalmának. I. e. 216-ban a cannes-i csatában római részről hatezer, Hannibál csapataiban pedig tízezer kiváló lovas ütközött össze. A zablát és a kantárt használták, a nyeret, a kengyelt és a patkót viszont nem ismerték, így a lovak patái igencsak edzettek lehettek, ha Britanniatól a Tigris folyóig tudták vinni lovaikat. A császári Róma felülmulthatatlan látványossága és a legnagyobb tömegeket megmozgató eseménye volt a kocsiverseny. A ló ebben a korszakban egyedülállóan fontos volt. Az előkelő római versenyistállót tartott, egy-egy értékes állat olykor száz-ezer sestertiusért cserélt gazdát. Tiszta, rendes istállóknak tartották a nemes példányokat, pálmaháncs kesztyűvel vakarták és tudományos alapossggal összeállított kosztal etették őket. Ez a kultusz is lassan elfajult, amit mi sem bizonyít beszédesebben, mint Caligula lovának, Incitatusnak a példája. A lovat ugyan a közhiedelemmel ellentétben nem nevezte ki konzullá, de márványistállót építtetett neki, elefántcsontból készült a jászola, bíborskarlát volt a takarója, aranyedényből ivott, és a nyakát gyöngysor díszítette. A római polgárt évszázadokon keresztül mi sem érdekelte jobban, mint hogy melyik szín kocsija győz. Ezt a kort idézi a *Ben Hur* című film is.

Az arab lókultusz, amelyet a mohamedán vallás megalapítója terjesztett el, ma is legendás. Hogy a ló milyen nagy tiszteletben részesült az araboknál, azt jól mutatja Mohamed elragadtatott dicsérete: „*A világ kincse a lónak két szeme között rejlik, a ló az ember után a legdicsőbb teremtmény, a legnemesebb foglalkozás a lótenyésztés.*” Egy arab bölcs szerint a földi paradicsom a lovak hátán, a könyvek lapjain és az asszonyok karjaiban található. Talán csak a sorrend kétséges.

A magyarság megjelenése a történelem színpadán, a kalandozások során aratott katonai sikerei, egész életformája a lóval volt szoros kapcsolatban; Európa félve tisztelte és foglalta imába a magyar lovak nevét. A magyar lovas Európát lovasságától fegyverezte: az íj, a nyíl és mozgékonyasága különböztette meg. A nyugat talpig vasba öltözött lovagait csak rendkívül erős ló volt képes hordozni. A magyarság lovai könnyebbek, fürgébbek voltak, és ügyesen mozogtak a legváltozatosabb terepen is. Ennek az Ázsia füves pusztáiról származó mokány lónak az állóképessége bámulatos lehetett, Bizánc-tól a Frank Birodalomig nyargaltak, a felderítő csapatok napi kétszáz kilo-

méter távolságot is becserkésztek. A magyarság lovastudása páratlan lehetett, nyilazás közben vágtában lovagolni, pillanatok alatt visszafordulni, cselt alkalmazva oldalazni, a nyeregben ülve a kopját biztosan a célra hajítani csak kiválóan képzett lovasnak állhatott módjában.

A nyereg bőrről bevont fából készült. A kengyelek használatát a hunok és az avarok is ismerték. A biztos ülést és lábtartást elősegítő kengyelvasak nagy jelentőségét a német lovagok is hamar felismerték: az augsburgi csata germán lovagjainak lába már kengyelvasba volt bújtatva.

Ha lóról beszélünk, nem kerülhetjük meg a reformkort, a hazai lóversenyzés kezdetét, és Széchenyi szerepét a lóversenyzés megteremtésében. A lótenyésztés nemzetgazdasági fontosságáról írt egyik mondatát szó szerint idézem: *„Csak magunktól függ, hogy a világ minden vásárait lovainkkal elboríthassuk, és hogy a magyar ló mindenütt érdemlett elsőbbséget nyerjen.”* A 19. század végén lótenyésztés és lóversenyzés terén nagyhatalommá váltunk, ezt jelzi Kincsem, a legyőzhetetlen magyar csodakanca, aki ötvennégy versenyen futott, és mind az ötvennégyyszer nyert.

A mozgató idegpályák fejlődése – mielinizáció

A **mielinizáció** során az idegsejtek hosszú nyúlványát, az **axont** több rétegben sejthártya (mielinhüvely) veszi körül, amely elszigeteli környezetétől, és az idegek gyorsabb ingerületvezetését teszi lehetővé. A mielinhüvely kialakulása a késői embrionális és korai **posztnatális** korban zajlik, időbeni megoszlása jelentős, fajonkénti eltérést mutat. Míg egyes fajok majdnem teljesen mielinizálatlan központi idegrendszerrel jönnek világra, addig másokban a mielinizáció különböző mértékben már lezajlott erre a pillanatra. Néhány pályára jellemző, hogy mielinizációja akár a felnőttkorig elhúzódhat.



Piaffe:

helyben végzett, tagolt iskolaügetés.

Passage:

spanyol ügetés. Ugrásszerű lengésben végrehajtott, fokozottan tagolt iskolaügetés.

Axon:

az idegsejtek hosszú nyúlványa.

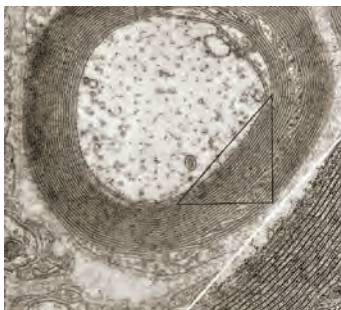
Mielinizáció:

az axont több rétegben sejthártya (mielinhüvely) veszi körül, amely elszigeteli környezetétől, és az idegek gyorsabb ingerületvezetését teszi lehetővé.

Posztnatális:

születés utáni.

A megszületett kiscsikó
rögtön fut



A mielinhüvely (Hajós Ferenc felvétele)

Ilyen például a mozgatórendszer is. Fontos megemlíteni, hogy a mielinhüvely kialakulása az axon körül jelzi annak funkcionális érettségét, mint-hogy csak ezután lesz képes teljes fokú ingerületvezetésre. Nagyon jól tükrözi ezt az újszülött mozgásmintázata is. A motoros pályák előrehaladottabb mielinizációjával születő fajokban hamarabb alakul ki az önálló mozgás, mint azokban, amelyek újszülöttkorban kevésbé mielinizáltak.

A ló agyvelőmérete az ellés előtti 14. naptól a születés utáni 45. napig számottevően nem változik, ugyanakkor jelentős belső változásokon megy át a mielin mennyisége, festési intenzitása megnő, újonnan keletkezett mielin tűnik fel, ami megnöveli a mielinizálódott motoros pályák összterületét.

A 45. posztnatális naptól a felnőttkorig az agy mintegy megkétszereződik, ugyanakkor a mielin arányos változása ezt nem kíséri. Ez azt jelenti, hogy a motoros pályákérésének főbb mozzanatai a **prenatális** és a korai posztnatális időszak között már lejátszódtak, amíg az agyvelő méretbeli növekedése az érési folyamat után következik be.

Az agykéreg által kontrollált mozgásszabályozást a szürkeállományból kiinduló mozgatópályák végzik, amelyek a gerincvelői mozgatósejtekhez térnek. A születés előtti, a születést követő, majd a felnőtt lóagyban ez a pálya egyre terjedelmesebb, fejlettebb.

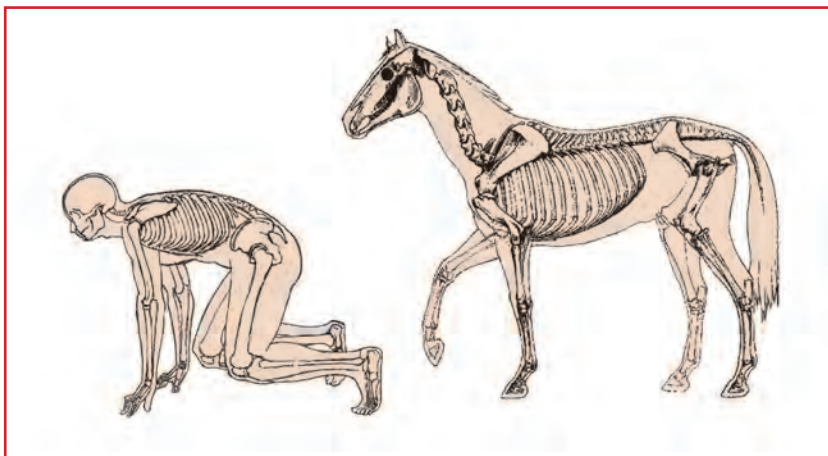
A mozgáselemzési vizsgálatokkal azt is kimutattuk, hogy a végtagokat a törzshöz kapcsoló nagy tömegű izmok teljes beidegzése csak ennek a pályának a teljes mielinizációja után lehetséges. A felnőtt lovakra jellemző kifinomult mozgásformák tehát csak a pálya teljes érése után várhatók. Ember esetében ez egészen a felnőttkor küszöbéig elhúzódik, részben ennek is köszönhető, hogy egy kisgyereket öt–hét éves kora előtt nem lehet megtanítani írni.

A ló statikus rendszere – anatómiai áttekintés

Ahhoz, hogy a ló mozgását tanulmányozhassuk, meg kell ismernünk mozgásszerveinek statikáját és dinamikáját. Az ember és ló testét összehasonlítva feltűnő különbségek találunk. A páratlan ujjú patás állat – amelynek csak egy ujjja, a középső, harmadik ujj fejlődött ki – az ujjhegyén áll. A három ujjperc megtalálható, az utolsó a patacsont, azt követi a pártacsont, majd a csüdcsont. Az itt lévő ízületet csüdízületnek nevezzük. A lábközépcsontok hosszúak, egy fő és egy külső és belső csökevényes lábközépcsont fejlődött ki, amelyeket kapocscsontnak nevezünk. Az ember csuklójának, illetve bokájának megfelelő lábtő- és **csánk**- vagy bokaízület magasabbra került. Az alkarcsontok a mellső végtagon redukálódtak. A könyökcsont és az orsócsont összenőtt. A hátulsó végtagon egy erős nagy sípcsont és egy kis szárkapocscsont található, amely a nevét onnan kapta, hogy a római korban a tógát ezzel kapcsolták össze. A térd és a könyök is a törzshöz közel található. A mellső végtagon az alkarcsontok és a lábközépcsontok egy oszlopot képeznek, e fölött előre felé irányul a karcsont – szöveget bezárva az alkarcsontokkal és ugyancsak hátrafelé nyíló szöveget a lapockával. Ugyanígy a combcsont

Prenatális:
születés előtti.

Csánk (tarsus):
állatoknál a lábtőízület.



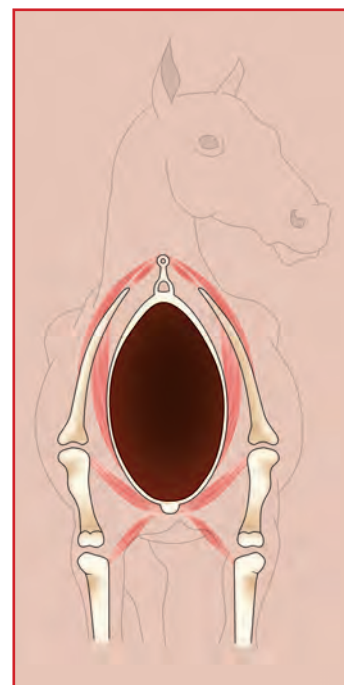
Az ember és a ló testének összehasonlítása

a medencecsonttal. A vállízületnél nem találunk kulcscsontot, mely a törzshöz rögzítené a mellső végtagot. A lónak hosszú háta van, hátcsigolyáinak száma 18, ágyécsigolyáinak száma hat, egyes lovaknak, például az arab lovaknak csak öt. A csontok, különösen a lábközép- és az ujjperccsontok rendkívül nagy szilárdságúak, több száz kilogrammos nyomásnak is ellenállnak.

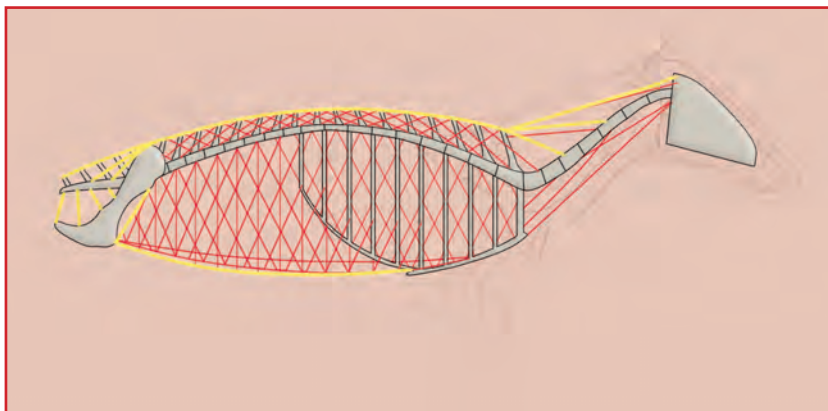
A statika kiindulópontja a test súlypontjának vagy tömegközéppontjának a meghatározása, amely a lóban a lapátos porc mögött, a törzs alsó és középső harmadának a határán található. A súlypont hátrább tolódik, ha az állat felemeli a fejét, vagy kinyújtja a farkát, illetve ha a gyomor és a bélcsatorna telt, vagy ha az állat vemhes. Előbbre helyeződik, ha az állat lehajtja a fejét és nyakát, vagy ha a bélcsatorna üres. A ló fejének mozgásával mintegy négy centiméterrel képes előbbre, illetve hátrább helyezni a súlypontját. A súlypont helye a nyereg elhelyezése, illetve teherhordó állatoknál a súlyelosztás nézőpontjából is fontos. A négy lábvéget összekötő egyenesek által határolt négyszögletű terület az állat alátámasztási felülete, amely az emberhez viszonyítva igen nagy, és a súlypont is közelebb helyeződik a talajhoz. Az állat mindaddig egyensúlyban marad, amíg a súlypontból vont függőleges éri az alátámasztási felületet. A súlypontból vont függőleges a négy lábat átlósan összekötő egyenesek metszési pontja elé esik. Részben ez az oka, hogy a négy lábon álló állatok egyensúlyi helyzetükből előre és oldalra könnyebben kimozdíthatók. Mindebből következik az is, hogy a törzs súlya a négy végtagot nem egyenletesen terheli. Az elülső végtagra esik a test súlyának nagyobb része, lóban körülbelül 57 százalék.

A fej, a nyak és a törzs statikája

A fej és a törzs csontos vázból, ízületekből, szalagokból és statikus-statodinamikus működésű izmokból álló szerveinek rendszere két konzolos, rácsos-ívhúros hídhoz hasonlítható. A híd pilléreit az elülső és hátulsó végtagok alkotják. A törzs statikus váza a két végtag között kifeszülő parabolikus rácsszerkezetű hídváz. A fej és a nyak, illetve a keresztcsont és a farok a híd ívéhez kapcsolódó szalagok útján rögzített elülső és hátulsó konzoloknak felel meg. Az elülső konzolnak megfelelő fej és nyak mozgékonyabb, mint a hátulsó, keresztcsontból és farokból álló konzol. A rácsos híd vázát, amely az úttest-



A törzs rugalmas felfüggesztése a mellső végtaghoz



A törzs statikája – hídszerkezet

nek felel meg, a csigolyák rostos, porcos, ízületi és szalagos összeköttetései, vagyis a hajlékony gerincoszlop képezi. A gerincoszlop ívét a gerincoszlop fölött és alatt elhelyezkedő húrrendszerek feszítik ki, rögzítik. A gerincoszlop fölött elhelyezkedő húrrendszer kettős hevederből áll. A közvetlenül a csigolyatestek közelében elhelyezkedő alsó hevedert a csigolyaívek, az oldalsó és tövisnyúlványok, illetve a közöttük lévő szalagok alkotják. A felső hevedert a csigolyák tövisnyúlványai fölött végighúzódnó szalag képezi. Ez a szalag előre az elülső konzol felé tér, és a fejen, illetve a nyakcsigolyákon tapadva képes rögzíteni azt. Az alsó húrrendszer szintén kettős hevederből áll, egyrészt a mellkas szilárd váza, a bordák, a szegycsont és az itt elhelyezkedő izmok alkotják. Az alsó húrrendszer felső hevederét a csigolyák teste alatt végighúzódnó hosszú szalag adja. A test súlya a két pilléreként működő végtagpár közötti ívre, a gerincoszlopra hat. A gerincoszlop a ráható terhelést a bordákon és a hasfal izmain át, a csigolyák nyúlványait összekötő szalagokon keresztül, nyomó-, illetve tolóerő alakjában a szalagokból álló húrrendszereknek adja át. A hasfal statikai rendszere ugyanakkor a zsigerek súlyát is viseli, és hevederszerű szerkezete ezt a súlyt kétoldalt a gerincoszlophoz továbbítja. Ezáltal a gerincoszlopot hajlítja. Ezt a hajlítást azonban a felső húrrendszer akadályozza, azaz az alsó húrrendszert terhelő zsigerek súlyát a felső húrrendszer is viseli. A zsigerek súlyát viselő húrrendszer olyan függőágyhoz hasonlítható, amely két végtaghoz, valamint a mellkas szilárd váza és a hasfal izmai révén kétoldalt a gerincoszlophoz is rögzítve van.



A csüdízület terhelése – a szerző lánya, Sótónyi Kata díjlovas üggetés közben

Az elülső végtag statikája

A végtagok mozgékony, többszörös szöget képező emelőrendszerhez hasonlíthatók. Az előrehaladó mozgásban a végtagok alátámasztó és előrelendítő emelőként működnek, a hátulsó végtagok a mozgás motorjai. A törzs tömegének nagy része az elülső végtagokra esik. A két mellső végtag közé a törzs az **alsó főrészsízmom** keresztül mintegy hevederbe belefeküdvé rögzül. Mivel háziállatainknak nincs kulcsontja, a mellső végtag teljes egészében izmosan kapcsolódik a törzshöz. Amikor az állat a talajra helyezi a végtagjait, a végtag csontjainak láncolata két egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú erő hatása alá kerül. Az egyik a törzs súlya, a másik a talajtól a törzs felé irányuló ellenhatás. A két ellentétes irányú erő az ízületeket hajlitaná. Az

erők találkozása a karcsont területére esik. A mellső végtagon egy felső és egy alsó rugózó rendszert különíthetünk el. A felső rugózó rendszerhez a vállízület és könyökízület, az alsó rugózó rendszerhez a csüdízület, a pártas és a pataízület tartozik. A lapockára ható törzs súlya a vállízületet igyekszik behajlítani. Az ízület előtt haladó hevederszerűen működő kétfejű karizom a hajlítás hatására megfeszül, és egyfelől erős, szinte porcos inával ellennyomást gyakorol a vállízület csúcsára. Másfelől a lapockára gyakorolt húzó hatásával rögzíti a vállízületet. Amíg a végtag a törzs súlyát viseli, a könyökízület nyújtott állapotban van, a kétfejű karizom megfeszül, a karcsont belefekszik az izomba mint hevederbe. A test súlyának mint lefelé irányuló erőnek a hatását a kétfejű karizom rögzítő hatásán kívül az ujjhajlító, valamint a lábtőhajlító izmok karcsonton eredő fejeinek statikus ereje is rögzíti.

A lábtő rögzítése közvetett, a kétfejű karizomból ered egy inas köteg, amely a lábtőnyújtó izomhoz tér. Minél erősebben feszül tehát a kétfejű karizom, a lapocka erős terhelése következtében a belőle induló inas köteg annál erősebben rögzíti a lábtövet. Fontos szerepe van a lábtő rögzítésében a lábtő hajlító felületén elhelyezkedő rendkívül erős szalagoknak is. A végtagra ható másik erő a talajtól a törzs felé irányuló ellenerő, amely az ujj- és a lábtőízületen keresztül a könyökízületre hat, és azt a törzs súlyához hasonlóan szintén igyekszik behajlítani. Az ízületeket rögzítő szalagok azonban mérséklék az erő közvetlen, erős, hirtelen hatását. A törzs felé irányuló ellenerőknek körülbelül a fele ugyanis a csüdízületben, az alsó rugózó rendszerben az ujjhajlító inakra tevődik át. A végtagok terhelése az ujjízületeket túlnyújtáná, de ezt az ízületek hajlító felületein az egymás fölött helyeződő inakból és szalagokból álló, úgynevezett hármass heveder megakadályozza, és egyben rögzíti az ízületeket. A felületes hevedert a felületes ujjhajlító izom ina képezi, amely az alkartól egy járulékos szalagot kap, és a pártasízületig terjedően gátolja a lábtő-, a csüd- és a pártasízület túlnyúlását. A megfeszülő ín a járulékos szalagot feszíti, és alátámasztáskor a súly viselése alkalmával az izom felette helyeződő **izomhasát** mintegy kikapcsolja, ezáltal maga az izomhas nem vesz részt a statikus működésben. A középső hevedert a mély ujjhajlító izom ina képezi. Ez az ín a lábközepcsonttól kap egy hasonló járulékos szalagot, mint amelyet a felületes ujjhajlító ín kapott, majd az ín innentől a patacsont hajlító felületén tapad, így a lábközepcsontoktól a patacsontig képez hevedert, és kikapcsolja a felette helyeződő izomhasat. A mély hevedert a csüdegyenítő készülék alkotja. A csüdegyenítő készülék szalagjai három csoportra oszthatók. A szalagrendszer felső szakaszát lóban egy teljesen inas izom képezi. Középső szakaszát az egyenítő csontokról oldalt térő szalagok, valamint az egyenítő csontokat összekötő porcos szalag képezi. Az alsó szakaszt az alsó egyenítő szalagok, az egyenes, a ferde, a kereszteződő és a rövid szalagok alkotják.

Alsó fűrészigom (musculus serratus ventralis):

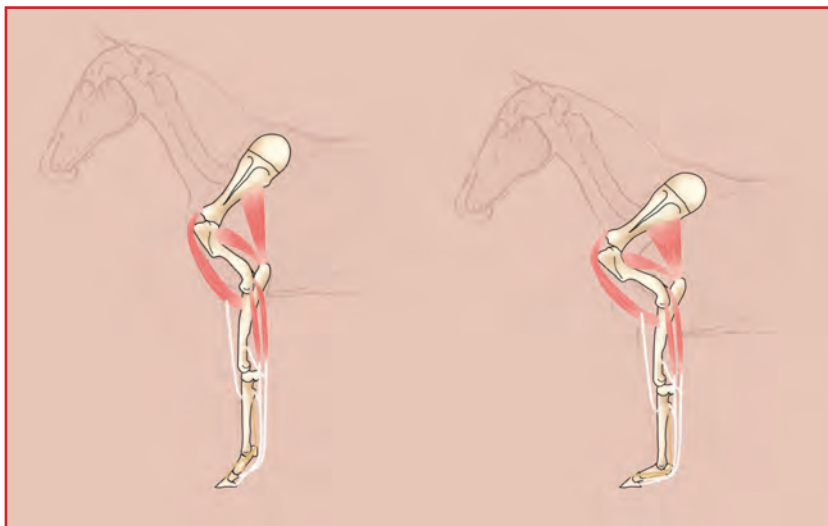
a lapockát a nyakcsigolyákkal és a bordákkal összekötő izom. A test súlyának nagy részét viseli.

Izomhas:

az izom összehúzódnásképes, izomrostokat tartalmazó, aktív része.

Az elülső végtag rugózó működése

Az elülső végtag enyhíti a törzstől, illetve a talajtól kapott erős lökéseket. A ló végtagcsontjainak szögélése a rugózó mozgás szempontjából hátrányosabb, mint az ujjon és a talpon járó állatoké. A felső rugózó részt a lapocka porca, a vállöv izmos beágyazódása, a vállízület és a könyökízület statikus



Az elülső végtag rugózó működése

szalagrendszerei képezik. Az alsó rugózó rész a csüd-, a párta- és a pataízület statikus szalagjaiból áll. A két rugózó rész között elhelyezkedő középső támasztó oszlop, az alkar, a lábtő és a lábközép statikailag közvetítő szerepet tölt be. A két rugózó rész között a végtag földre helyezésekor az állás az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszában az alkar, a lábtő és a lábközép egységes oszlopként működik, és az erő rajta közvetlenül halad keresztül. A két rugózó rész közül a felső hosszabb, nagyobb kilengést is lehetővé tesz, és ezáltal jobb a rugózása, mint a főleg feszes és erős szalagokból, inakból álló alsó rugózó rendszeré. Ugrások alkalmával a földtől kiinduló erős lökéseket nagyobb mértékben a főleg statikus izmok segítségével működő felső rugózó rendszer biztosítja. A törzs súlyának megfelelő nehézségi erő és az azt ellensúlyozó, a talajtól kiinduló ellenerő találkozási pontja a karcsontban van. A végtagra ható két ellenkező irányú erőt elsősorban a karcsont rugózó működése egyenlíti ki. A karcsont előrehaladó mozgás közben a mérleg szárához hasonlóan mozog. A láb felemelésének, előrelenyítésének a szakaszában a karcsontnak mint teherkarnak a forgástengelye a vállízületben, az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszában pedig a könyökízületben van. A kar tehát kétféle funkciót végez: egyrészt mint az erők ütközőpontja az erők egyensúlyát tartja fenn, másrészt a végtag legfontosabb rugózást lehetővé tevő készüléke.

Statikus rendszer:

az állatok azon passzív szervei – például csontok –, amelyek az állat egyensúlyát biztosítják állás közben.

Dinamikus rendszer

a mozgásban aktívan részt vevő szervek – például izmok – összessége.

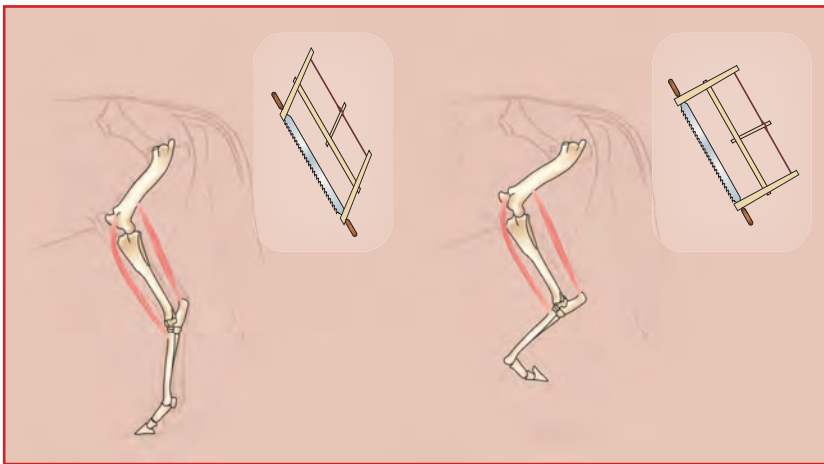
Csípőízületi vápa (acetabulum):

a combcsont domború feji részét befogadó, félgömb alakú, vajt képlet. Nevét a római kori ecetes csészéhez való hasonlósága alapján kapta.

A hátulsó végtag statikája

A hátulsó végtag kapcsolóöve, a medence a törzs **statikus rendszerének** szerves része. A gerincoszlophoz, a keresztcsonkhoz merev ízülettel kapcsolódik. A hátulsó szabad végtag a csípőízületben ízesül a medencéhez, a combcsont feje illeszkedik a **csípőízületi vápába**, és a csípőízületet csupán kis szalagok, illetve az ízületi tok, valamint a tömeges farizmok izomtónusa rögzíti helyzetében. A hátulsó szabad végtag ízületeit az elülső végtaghoz hasonlóan szintén statikus szalagok, inak és statodinamikus izmok rögzítik, amelyek lehetővé teszik, hogy a test súlyának a hátulsó végtagra eső kisebb részét kevés izomerő igénybevételel megtartsák. A hátulsó végtag támasz-

tóoszlopszerű működésében a térdízület hurokhoz hasonló rögzítő szalagrendszerének, az úgynevezett térdkalács- vagy **patellamechanizmus**nak van a legnagyobb szerepe. Az egyenes combizom íncsontjának, a térdkalácsnak vagy **patellának** a sípcsonthoz való rögzítését egy szalag végzi. Ez a szalag a lóban három részből áll: egy belső, egy középső és egy külső szalag alkotja. A belső és középső szalag a patellával együtt képes fennakadni a combcsont hengerének belső bütyke fölél. Amikor a combcsontot a térd nyújtói a sípcsont és a térdkalács ízületi felületein mozgatják, nyújtáskor a combcsont feletti árok a térdkalács alá illeszkedik, majd az egyenes combizom elernyed, és a hurok a kiemelkedő combcsont hengerén fennakad. Eközben a térdkalács középső és belső egyenes szalagja feszült állapotban van. A hurokrendszer így a térdízületet középállásban tartja.



Fűrészkonstrukció

A térdízület rögzítése egyben a csánkízület rögzítését is jelenti, mert a két ízület csak együtt képes elmozdulni. Az együttműködést az úgynevezett **fűrészkonstrukció** biztosítja. Ez a csontokból és inakból álló szerkezet a keretfűrészhez hasonló alakja és működése alapján kapta a nevét. A fűrész vázát a lábszár fő csontja, a sípcsont alkotja. A két végéhez illeszkedő haránt irányú farészeket a combcsont alsó végdarabja, illetve a lábtőízület, azaz a csánk csontjai képezik, amelyek az izmok erőkarjaként működnek. A fűrész lapját a lovon egy teljesen inas izom adja, az izom a combcsonton ered, és a lábtő csontjain, valamint a lábközépcsontokon elöl tapad. A fűrész ístrángját, kötelét a felületes ujjhajlító izom lóban szintén teljesen inas szakasza alkotja, amely a combcsonton ered, és a sarokcsont gumóján egy sapkaszerű inas rostköteggel tapad. A csánkízületet, azaz a lábtőízületet közvetve tehát a patellamechanizmus rögzíti. A fűrészkonstrukció elve ugyanis az, hogy a térd- és csánkízületet a hajlító és a nyújtó felületen egyaránt összekötő két ín a térdízület hajlításakor és nyújtásakor a csánkízületet passzívan ugyanolyan mértékben nyújtja, illetve hajlítja, és ennek megfelelően a térdízület passzív rögzítése alkalmával hasonló szögállásban a csánkízületet is passzívan rögzíti.

A patellamechanizmushoz, azaz a térdkalács rögzítéséhez kis fokban az egyenes combizom izomtónusára is szükség van. Hosszabb állás után a ló hátulsó végtagja is elfárad, emiatt a ló hátulsó végtagjait állás közben váltva

Patellamechanizmus:

lóban fordul elő, a térdkalács és annak szalagrendszere a combcsont bütyke fölé beakadva a térdízületet rögzíti.

Patella:

térdkalács.

Fűrészkonstrukció:

a térd és a csánkízület csak együtt képes mozogni, a térdízület mozgását a csánkízület azonos mértékben követi. Ezen működés a keretfűrészhez való hasonlósága miatt kapta a nevét.



Az inak kollagénrostjai

terheli, helyzetváltással pihen. Eközben a végtag mint passzív hordozó oszlop átveszi a törzs ráneheződő súlyát. A másik hátulsó végtagon az egyenes combizom aktív összehúzódása révén kiemeli a térdkalácsot a combcsont hengere fölötti árokból, ezáltal a patellahurkot kiakasztja és a végtagot tehermentesíti.

A csüd-, a párta- és a pataízületnek lényegében ugyanolyan statikus szalagjai vannak, mint az elülső végtagon. A mély ujjhajlító ín járulékos kötege azonban gyengébb. A felületes ujjhajlító izom járulékos ínjának a hátulsó végtagon az ín sarokgumón tapadó rostjai felelnek meg.

A lovak ujjhajlító és ujjnyújtó inai, valamint szalagjai rendkívül nagy húzóerőknek képesek ellenállni. Az inakban a kollagénrostok sűrű szöveteket képeznek, amely különösen jól megfigyelhető a megszártott ín rostjainak tilolással történő szétválasztása után.

A ló mozgásformái

A végtag ízületeinek szöge és az izmok felépítési módja az előrehaladó mozgáshoz alkalmazkodik. Az előrehaladó mozgás mindig az egyik hátulsó végtag terhelésével, majd ízületeinek kinyújtásával kezdődik. Az állat a medencéjét és ezáltal a törzsét is előre és fölfelé nyomja. Az ízületek kinyújtásakor keletkező, talaj felé irányuló nyomást a törzsre ható tolóerő váltja fel. Ez utóbbi a mozgás irányába esik, ezáltal előrehaladó mozgássá alakul át. Eközben a súlypont eltolódik az ellenkező oldali elülső végtag irányába. Ezt az elülső végtagot az állat ebben az időszakban a földről felemeli. Ez alatt a másik oldali hátulsó végtag ízületei nyúlnak ki, a törzset előretolják, és a súlypont ismét az ellenoldali elülső végtag felé tolódik. Majd a folyamat újból kezdődik előlről. Mozgás közben az állat súlypontja, és ezáltal a törzse jobbra-balra ritmikusan kileng. Mindezt az állat a fej és a farok mozgásával tartja egyensúlyban.

A lépés fázisai, szakaszai, mozzanatai

Egy végtag mozgása során a lépés időszakában két fázist különböztetünk meg: a levegőben való függést és a súlyviselést. A fázisokat szakaszokra oszthatjuk. A levegőben való függés fázisa az ízületek behajlítása és az ízületek nyújtása, a súlyviselés, az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszaiból áll. A szakaszokat további mozzanatokra lehet felbontani. Az ízületek behajlításakor a felemelés és az előrelenyúlás mozzanata, az ízületek nyújtásakor az előrelenyúlás és a letétel mozzanata figyelhető meg. Az alátámasztás szakaszán belül a súlyátvitel (**átlépés a csüdízületben**) és a megterhelés mozzanatait különíthetjük el; a súlyeltolás szakaszán belül az **átlépést a pataízületben** és a tulajdonképpeni súlyeltolás mozzanatát.

A levegőben való függés fázisában a végtagot a vállöv izmos összeköttetése fűzi a törzshöz, rögzíti és mozgatja a mellkas oldalán. Ebben a fázisban a végtag a törzshöz viszonyítva nyolc-kilenc centiméterrel mélyebb síkban

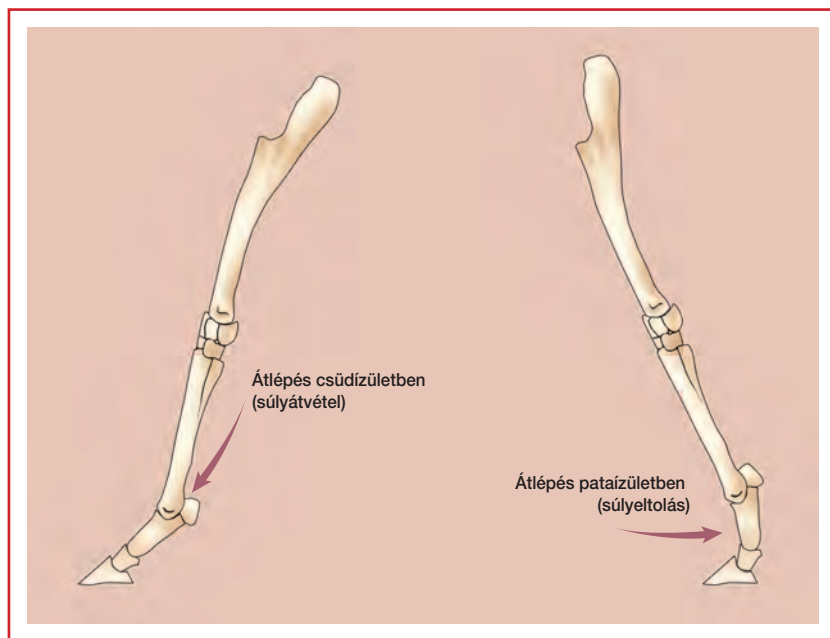
Átlépés a csüdízületben:
a súlyátvitelkor a csüdízület túlnyújtott állapota.

Átlépés a pataízületben:
az alátámasztás végén a pataízület túlnyújtott állapota.

*A végtag hajlítása**A végtag nyújtása*

mozog. Az első fázis első szakaszában, a felemelés mozzanatában a vállöv izmai a kart és ezáltal a szabad végtagot emelik, és a végtag ízületeinek hajlítói izmai az ízületeket behajlítják, a lábvég a földről felemelkedik, ízületei hajlanak. A hátulsó szabad végtagot a törzsről eredő izmok emelik azáltal, hogy a combot emelve behajlítják a csípőízületet. Az előrelendítés mozzanatában az állat előrelendíti végtagjait, miközben a végtag ízületei a mozzanat kezdetén hajlanak, a végén már nyúlnak. Így megy át folyamatosan a második szakaszba, az ízületek nyújtásába.

E szakasz első mozzanata az előrenyúlás, amelyben az ujj-, majd a lábtő-ízület nyújtói vesznek részt, eközben a vállöv izmai előrehúzzák az egész végtagot, miközben a kar süllyed.



A lépés

A hátsó végtag előrelendítésének végén az ízületek nyújtásával a végtag talajra helyezése kezdődik. Az izmok nyújtják a térd-, a csánk- és az ujjízületeket, ezáltal a végtag hosszabbodik, és közeledik a talajhoz. Az ízületek nyújtásának végén, a letétel mozzanatában az állat a talajra helyezi a kinyúló végtagot. Ebben ujjízületeinek a nyújtói működnek közre. Az ízületek hajlítása és nyújtása egyaránt az ujjpercízületek felől kezdődik, majd felfelé a többi ízület követi fokozatosan, és a vállízület fejezi be a végtag ízületeinek nyújtását, illetve hajlítását.

A második fázisban, a súlyviseléskor az elülső végtagon a két lapocka között megfeszülő alsó fűrészsízmeghevederszerűen függeszti fel a törzset, miközben a végtag a törzshöz viszonyítva, a törzs súlyát viselve magasabb síkban helyeződik. Az első szakaszban, alátámasztáskor, nagyjából a végtag viseli a törzs súlyát. A törzs előrelendítése csak másodlagos a folyamatban. A hátsó végtag azonban ebben a szakaszban is részt vesz a törzs előrelendítésében. E szakasz első mozzanata a súlyátvétel. Az állat a végtagra helyezi a testsúlyát, az ízületek statikus szalagjai és izmai megfeszülnek. Az elülső végtag a mar irányába felemelkedik, súlyátvételnél a csüdizület túlnyújtott állapotba kerül, a csüd a talajhoz közeledik. A csüdegényítő készülék és a felületes ujjhajlító izom hevedere megfeszül, és a test végtagra eső súlyának körülbelül a felét a szalagok és izmok veszik át. Ez a mozzanat az átlépés a csüdizületben. A második mozzanat során, a megterheléskor, a végtag a törzs súlyának nagy részét viseli. Ez a mozzanat az átlépés pillanatában kezdődik és addig tart, amíg a lábközépcsontok tengelye a függőlegest el nem éri. Alátámasztás közben a végtag statikus szerveinek működése dominál. Az alátámasztás végén a második szakasz, a súlyeltolás szakasza kezdődik. Ekkor a pataízület kerül túlnyújtott állapotba, ez az átlépés a pataízületben. E pillanatban a mély ujjhajlító izom ina feszül meg a legnagyobb mértékben. A súlyeltolás szakaszának utolsó mozzanata a tulajdonképpeni súlyeltolás. A végtag alátámasztó működése mindinkább



Leonardo da Vinci rajza,
1490-es évek

csökken, a súlyeltolást végző izmok működése fokozódik. A lépés mozzanatai közben az ujjhajlító inainak terhelése, igénybevétele különböző mértékű. Súlyátvételnél a csüd- és a pártahajlító, az alátámasztás végén, illetve a súlyeltolás kezdetekor (átlépés a pataízületben) nagyobb mértékben a patahajlító izom ina feszül meg.

A lépés a lábvég felemelésétől a következő felemelésig tart. Hossza a két egymás után következő ujjvég nyoma között mérhető. A lépés akkor szabályos, ha a végtag mozgása a törzs tengelyével párhuzamosan, a **szagittális** síkban ingaszerűen megy végbe, és a lábvég a levegőben közepesen magas ívet ír le, amelynek legmagasabb pontja a lépéshossz közepén mérhető.

Az előrehaladó mozgás közben az állat általában váltva használja négy végtagját, de az egyes végtagok mozgásának szakaszai időben többé-kevésbé egybefolynak. Pontos vizsgálatára a lassított filmfelvételt felhasználó mozgásgrafikonok szolgálnak. E módszerrel megállapíthatjuk, hogy a lépés az a mozgástípus, amelyben az állat a súlypontját az egyik hátulsó végtagról az elülső véagra helyezi át. Tehát amíg az egyik végtag az alátámasztás, súlyeltolás szakaszában van, a másik a levegőben függ. Vannak ugyanis olyan mozgástípusok, amelyeknek az egyes fázisában egyszerre három végtag a földön helyeződik, ez a *háromláb-alátámasztás*. Van olyan pillanat, amikor a két diagonális vagy két azonos oldali végtag van a földön, ez a *diagonális* vagy *szagittális kétláb-alátámasztás*. Amikor három végtag függ a levegőben, és csupán egy viseli a test súlyát, *egyláb-alátámasztásról* beszélünk. Végül van olyan mozgástípus, amelynek egyik pillanatában az egész állat a levegőben úszik, mintegy lebeg, ez esetben tehát az előrehaladó mozgás egymást követő *ugrásokból* áll.

Mozgástípusok

Az előrehaladó mozgás különböző gyorsasággal és egyes végtagok fázisainak eltérő típusú sorrendje szerint mehet végbe. Eszerint megkülönböztetünk *lépést*, *ügetést*, *poroszkálást*, *vágtát*, *ugrást*. A lépés az előrehaladó mozgás leglassúbb módja. A különböző típusú lépések alapvető közös vonása, hogy a mozgáshoz szükséges impulzust adó hátulsó végtagok az azonos oldali elülső végtagot mintegy fél lépéshosszal megelőzik. Jellemző az is, hogy az elülső végtag előrelendítésekor a far felemelkedik, majd az alátámasztás időszakában süllyed. A lépés során az állat azonos oldali elülső és hátulsó végtagja majdnem együtt, de nem azonos időben mozog. A mozgást megindító hátulsó végtag egy negyed fázissal mindig megelőzi az elülsőt. Ezért ha az állat kemény talajon jár, azonos időközben, egymás után négy patadobbanást hallunk. Mozgás közben a súlypont áthelyezése következtében az állat teste horizontális és vertikális irányban kileng. Ez az elmozdulás szemmel alig látható, lovaglás közben azonban érezhető.

Az *ügetés* a lépésnél gyorsabb. A tréningben lévő ló órákig ügethet anélkül, hogy kifáradna. Az ügető állat diagonális végtagjai szinkronban mozognak. Ezt diagonális szinkronizmusnak hívjuk. A diagonális végtagok a

Szagittális:

a test hossz tengelyével párhuzamos.



Cerbero, a barnatarka, kapriolában. J. G. Hamilton festménye, 1725 körül



Ügetés

lépés mindig azonos fázisában vannak. Az állat súlypontját mindig két láb viseli, ezt nevezzük diagonális kétláb-alátámasztásnak. Az ügetés sebessége, valamint az előrelendítés és az alátámasztás fázisai közötti eltérés alapján három ügetéstípus különböztethető meg. Az *élénk ügetés*kor az alátámasztás időszaka az előrelendítéshez viszonyítva szűkebb. Emiatt az alátámasztást végző diagonális végtagpár az előrelendítésben lévő végtagpár talajra helyezése előtt felemelkedik. Ezáltal kialakul egy igen rövid időszak, az úgynevezett „lebegő periódus”, amikor egyetlen végtag sem érinti a földet. A *versenyügetés*kor az állat annyira megnöveli lépéshosszát, hogy előrelendülő hátulsó végtagjával az alátámasztásban az azonos oldali elülső végtag mellé, esetenként az elé lép. A *lassú* vagy *rövidügetés*kor az előrelendítés az alátámasztáshoz viszonyítva rövidebb. Emiatt a diagonális kétláb-alátámasztás között időnként egy háromláb-alátámasztás is előfordul.

A *poroszkálásra* az azonos oldali, úgynevezett szagittális szinkronizmus jellemző. Ez esetben az egyik oldali végtagpár a levegőben való függés, az ellenoldali a súlyviselés fázisában van. A poroszkálás egyes állatfajok öröklött természetes mozgástípusa, lóban viszonylag ritka. Az úgynevezett *repülőporoszkálás* a vágtahoz hasonló gyors mozgástípus. Egyes fázisai nagyon hasonlóak a galopphoz. E mozgástípus során a szagittális kétláb-alátámasztások között rövid lebegési fázis is észlelhető. A jobb, illetve bal oldalra történő ütemes súlypontáthelyezés a törzset ringatja.

A *vágta* vagy *galopp* az állatok leggyorsabb mozgástípusa. A vágtazó ló maximális sebessége 60 km/óra. A vágtazás során a törzs előrevitelében a gerincoszlop izmai aktívabban vesznek részt, nagyobb mértékben segítik elő a törzs előrevitelét, amelyet túlnyomórészt az egyik hátulsó végtag véggez. A törzsre ható tolóerő tehát nem a test hossz tengelyének irányába, hanem a diagonális elülső végtag felé irányul. A vágtazó ló testének hossz tengelye emiatt nem a haladás irányában, hanem a diagonális végtagot összekötő egyenes irányában van. Körpályán vágtaató lónál ez nem problé-



Vágta

ma. Egyenes irányú haladásnál a lovas mintegy erőltetéssel az állatot a mozgás irányába állítja. A *rövid vágta* során a hátulsó külső egy láb-alátámasztást szagittális kétláb-alátámasztás, majd a háromláb-alátámasztás után az újbóli szagittális kétláb-alátámasztás követi, majd újra háromláb-alátámasztás. Lebegő fázis nincs. A galopp leggyorsabb típusa a *versenyvágta*. Versenyvágatában a súlyviselés periódusa rövidül, a lebegőben való függés hosszabbodik, ezáltal a diagonális kétláb-alátámasztásban a hátulsó végtag korábban éri a talajt, mint a hozzá tartozó elülső. Emiatt az első háromláb-alátámasztás helyébe egy hátulsó kétláb- és egy hátulsó egyláb-alátámasztás kerül. A második háromláb-alátámasztás helyébe pedig egy elülső egyláb- és egy elülső kétláb-alátámasztás. A lebegés periódusa hosszú.

Az *ugrás* az előrehaladó mozgás közben talált akadályok vagy árkok fölött végzett galoppból kiinduló lebegő fázissal járó mozgástípus. Fázisai lényegében a vágta fázisaiból vezethetők le. Három fázisa az előkészület, a kivétel és a befejezés. *Előkészület*kor az állat a fejét és a nyakát felemeli, lendületét lefékezi, majd a következő pillanatban egyik hátulsó végtagját a törzse alá lendíti, miközben két elülső végtagjával ellöki magát a talajtól. Az ugrás *kivitelezése*kor a hátulsó végtagok a hát- és a farizmok erőteljes összehúzóásával a törzset fel- és előreemelik, miközben a végtagok ízületei kissé behajlanak. A következő pillanatban a hátulsó végtagok ízületei maximálisan kinyúlnak, és a törzset fel- és előre felé a lebegőbe lendítik. Eközben az elülső végtagok lábőrizületei erősen behajlított helyzetben haladnak át az akadály fölött, a hátulsó végtagok pedig nyújtott állapotban vannak. Miután a test elülső fele az akadályon túljutott, a fej és a nyak előre nyúlik, a törzs pedig az akadály fölött fordulni kezd: tengelye előre és lefelé irányul. Eközben az elülső végtagok ízületei nyúlnak, a hátulsó végtagok maximálisan behajlanak. Az állat a hátulsó végtagját a törzshöz húzza. Az ugrás *befejezése*kor a fej és a nyak kissé emelkedik, ezáltal az állat fékezi sebességét, majd a földet

*Ugrás lovassal*

éréskor először az elülső végtag éri a talajt. A súlyátvételkor a csüdizületek maximálisan túlnyújtott helyzetbe kerülnek. Eközben a két hátulsó végtag is kinyúlik, és a földhöz közeledő törzs hátulsó felét a törzs alá előre nyomuló végtag fogja fel, ami egyben a vágta következő fázisát is bevezeti. A ló esetében tehát az ugrás a vágta válfaja.

A mozgás vizsgálata

Az állattenyésztés fejlődése során megszerzett tapasztalatok és tudásanyag nagyrészt a ló tökéletesítésére koncentráltak. A **hippológia** (lóismeret) kiemelkedett az állattenyésztésből, és a 18–19. században következett el fénykora. Ekkortájt jelentek meg több országban is az intézményesített lóversenyek, ami jelentősen emelte a lótenyésztés hatékonyságát. A versenylovak mellett megjelentek a gazdasági és hadászati célra alkalmas fajták is.

Érthető módon a hippológia hangsúlyt helyezett a ló mozgására. A mozgásrendszer elemzésével nyert információ segíthet abban, hogy a használatnak leginkább megfelelő alkatú és mozgású egyedet válasszuk ki, illetve hogy megismerjük az állat szokásait. Akkoriban azonban még nem tudtak túllépni a puszta megfigyelés határain. A 19. század közepétől a mozgókép rögzítésére irányuló törekvések jelentősen hatottak a mozgásanalízis fejlődésére. Többféle technikával próbálkoztak. A ló mozgásának első tudományos leírásai az 1870-es évekből származnak. A legelső sikert Wilhelm Baumeisternek tulajdonítjuk, aki 1870-ben írta le a ló lépésének **patadiagram**ját.

Három évvel később Etienne-Jules Marey bemutatta az eredetileg emberi mozgás analízisére szánt pneumatikus eszközét, amely lovon alkalmazva részletes patadiagramot és lépésfázisadatokat szolgáltatott. Marey hírnevét azonban sokkal inkább saját tervezésű fotópuskája alapozta meg. Első felvé-

Hippológia:

lóismeret, lovakkal foglalkozó tudományág.

Patadiagram:

a ló patáinak földre érkezését ábrázoló képsorozat.

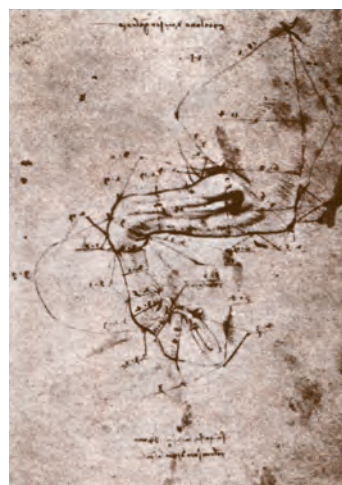
telei egy kockára exponált montázsot voltak, később megoldotta az elkülönített exponálást, és az így nyert sorozatai már alkalmasak voltak elemzési célokra is.

Előadásom szempontjából érdekes a mozgófilm készítésének története, amely – különös módon – egy fogadással vette kezdetét. Az 1880-as évek közepén az amerikai Eadweard Muybridge fogadást kötött, hogy a lovak vágtája során van olyan pillanat, amikor egyetlen végtag sem érinti a talajt. Ennek az úgynevezett lebegő fázisnak a tettenérésére összeállított egy tizenkét fényképezőgépből álló sorozatot, amelyek expozícióit a ló mozgásának megfelelően szinkronizálta. Így jött létre az első mozgófilm-képsor a ló mozgásának elemzése kapcsán. A fogadást egyébiránt megnyerte, és egyúttal azoknak a művészi ábrázolásmódoknak a valóságértelmezését is bizonyította, amelyeken a lovat előre és hátra nyújtott végtagokkal, hintalószerűen jelenítik meg.

Itt kell megjegyeznünk, hogy a történelmi témájú festményeiről ismert Székely Bertalan, a „művészeti boncalaktan” legelső hazai mestere, a Mintarajziskola (Képzőművészeti Főiskola) anatómiatanára az anatómia-oktatás keretében kezdett el loánatómiával, illetve a ló mozgásával foglalkozni. Mint írja, „a ló mozgása minden más állat mozgásának kulcsa, másrészt pedig a ló az ember után a legfontosabb, leggyakrabban ábrázolt motívum a festészetben”. A ló minden járásmódját kimerítően tanulmányozta, s ő is szembe találta magát azzal a problémával, amely a művészeket már évszázadok óta foglalkoztatta: hogyan kell helyesen ábrázolni a ló gyorsabb mozgásait, amelyek szabad szemmel nem figyelhetők meg. A pillanatfelvételek megjelenése előtt ehhez az egyetlen módszer az a rekonstrukciós eljárás volt, amelyet a hippológiában alkalmaztak, s amelyet Székely is átvett: a ló patanyomaiból, a paták földre ütődéseinek lekottázásából, valamint a ló testének mechanikájából kiindulva szerkesztette meg a ló lábainak mozgását. Ehhez felhasználta E.-J. Marey francia fiziológus 1873-ban megjelent könyvében ismertetett grafikai lejegyzési módszerét, amely a mozgó alakra szerelt szerkezetek segítségével a mozgás lefolyásának egzakt diagramját nyújtotta. Székely az egyes lábak mozgásfázisait oldalnézetből rajzolta meg, s a négy láb egyidejű állását a Marey-féle diagram alapján hangolta össze. Az egymás utáni pillanatnyi állásokat rekonstruálva tizenkét fázisban rajzolta meg a ló mozgását különféle járásmódokban, és **zootrópszalagokat** készített, amelyeknek egy **zootrópban** való megpörgetésével a „lelassított” mozgást ismét eredeti sebességében lehetett megsejteni és megállapítani, hogy helyes volt-e a szerkesztés. Székely e kísérletei közben szerzett tudomást Muybridge mozgó lovakat ábrázoló pillanatfelvételeiről, és ezek tanulságait is beleépítette szalagjaiba, amelyeket egy tablóra ragasztva is felhasznált az oktatásban. A lovakat rajzoló tanulók ezeken tudták ellenőrizni, hogy az általuk kiválasztott állásban és mozgásmódban a lovak lábai helyes sorrendben vannak-e. Székely célja elsősorban a korrekció volt, miközben e „fázisfotókkal” tulajdonképpen a filmet előlegezte meg, illetve – mint Marey hozzá írt levelei bizonyítják – szerkesztései révén egy rövidke pillanatot a fotográfia lehetőségig is túlszárnyalta részletesebb ábrázolásaival.



Szent László lovon. Részlet
a székelyderzsi falképről, 1419



Leonardo da Vinci rajza a lóláb
anatómiájáról, 1490-es évek

Zootrópszalag:

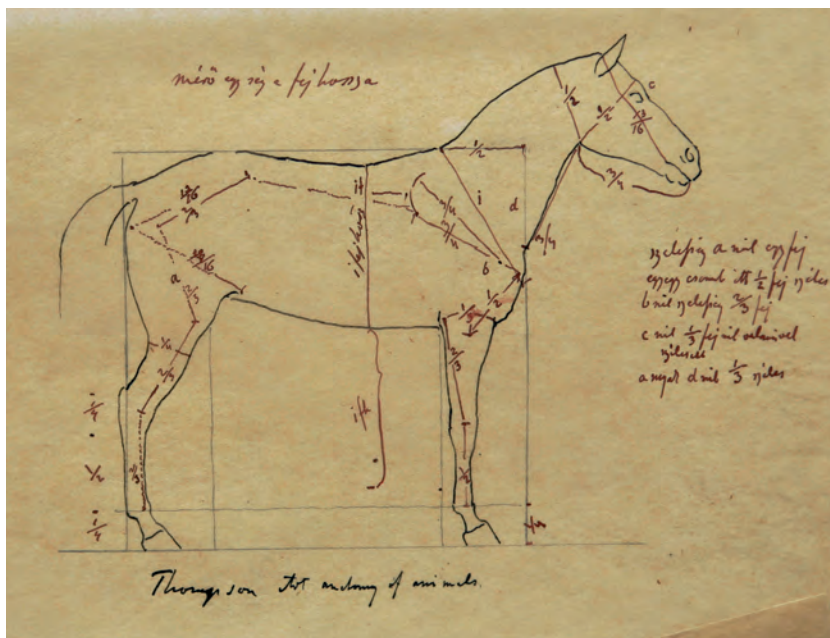
a mozgás fázisait ábrázoló képsorozat.

Zootróp:

szabadon forgó henger, amely a mozgás fázisait ábrázoló képsorozat pörgetésével mozgásillúziót kelt.



Székely Bertalan mozgás-
tanulmányai



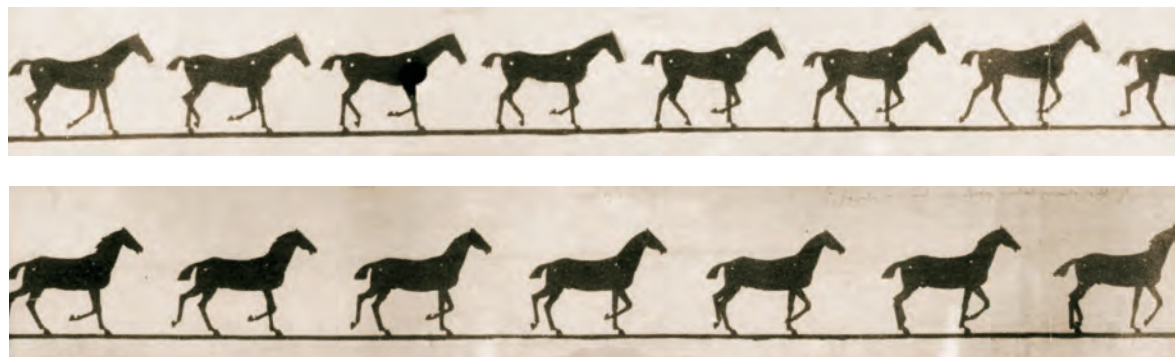
Munkásságának e termékeny szakasza számos tudományos igényű, a ló mozgását pillanatonként változó elemekre bontó vázlatot és illusztrációt eredményezett, amelyekből a Képzőművészeti Egyetem Barcsay-termében 1992-ben rendeztek egy nagyszabású, katalógussal is kísért kiállítást. A századfordulóra Székely forrásai és lehetőségei a nemzetközi tudományos haladáshoz képest megfogytak, elemzései és kutatásai sajnálatosan nem maradtak meg nemzetközi viszonylatban.

Fotópuska:

sorozatba állított fényképező-
gépek szinkronizált működte-
tése.

A Marey-féle revolverszerű **fotópuska** és vele párhuzamosan fejlődő egyéb eszközök voltak a filmkamera elődei, melyek hosszú évtizeden át álltak a filmkészítés szolgálatában, mialatt jelentős fejlődésen mentek át. A másodpercenkénti 24 képkocka, amelyet a szokásos kamerák készítenek, jó minőségű, az emberi szem számára folyamatosnak tűnő képet ad. Lassított lejátszásuk különösen hasznosnak bizonyult a különböző mozgásformák részleteinek megismerésében. Manapság már olyan egyéb, kifinomult eszközök állnak a mozgáselemzés területén a kutatók rendelkezésére, mint például a nagy sebességű videokamera. Az 1970-es évektől kezdődően megszületett a precíziós alkatrészek működését szabályozó elektronikák techni-

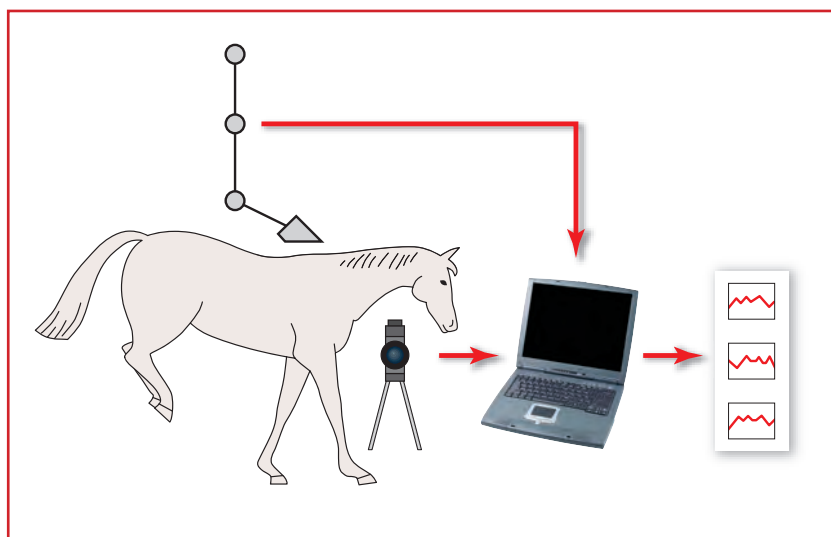
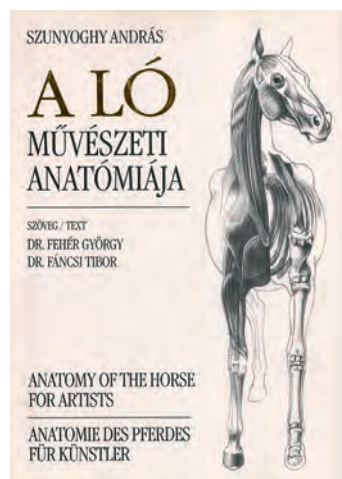
Székely Bertalan mozgás-
tanulmánya



kai háttére. Ezek mellett a fotokémiai eljárások kifinomulása lehetővé tette rendkívüli érzékenységű filmek ipari előállítását is. Ennek a fejlődésnek a csúcsaként sikerült több mint tízezer képkocka/sec mintavételű filmeket előállítani.

Egy másik jelentős előrelépés volt a mozgáselemzés terén a futószalag alkalmazása, amellyel a szabadon mozgó állatok filmezésénél előálló eltéréseket sikerült kiküszöbölni. Másfelől lehetőség nyílt a mozgásban lévő állatot a kamera előtt egy helyben tartani, és a főbb anatómiai pontokra helyezett markerek mozgását vizsgálni.

A kinematikus mozgásvizsgálat során az ízületekre felhelyezett, öntapadós, fényvisszaverő markereket vörös fényt kibocsátó kamerák érzékelik, amelyekből a jelenlegi mozgáslaboratóriumok négy-hat darabot helyeznek el az állat körül. E speciális kamerák csak a markereket érzékelik, és a róluk származó jeleket továbbítják a számítógépbe. A számítógép kétdimenziós formában jeleníti meg a pontokat, amelyeket a tér minden irányából megfigyelhetünk. A markerek háromdimenziós ábrázolásához elengedhetetlenül fontos, hogy egy markert legalább két kamera érzékeljen és rögzítsen egy időben, amit egy számítógépes program háromdimenziós koordináta-rendszerben jelenít meg, így ezen pontok összekötésével készíthetjük el a „pálcikaállatot”. Az így elkészített állatmodell a tér minden irányába elfordítható és tanulmányozható.



Mozgásvizsgálat napjainkban

Ezen eljárás segítségével lehetőség nyílik a mozgás objektív elemzésére egészséges, valamint mozgásszervi és idegrendszeri betegségben (például a kínai kopasz kutya Parkinson-kórhoz hasonló kórformájában) szenvedő állatokban, és a károsodás súlyosságának, esetleges romlásának, illetve javulásának pontos megítélésére.

A lovak mozgásának modern kori, számítógépes vizsgálata az 1980-as évek elején kezdődtek. A markerek, kamerák elhelyezése, beállítása hasonló a kutyan végzett vizsgálatokhoz, és a közeli felvételeken jól láthatóak a fejen, a törzsön és a végtagokon elhelyezett jelzőpontok. A lábvég mozgása a kinagyított és lassított filmen tanulmányozható tökéletesen.

**Levade:**

a ló hátulsó ízületei meghajlanak, csánkja csaknem a földet éri. Eleje az alkarhoz húzott lábközéppel megemelkedik, hátának vonala a talajjal körülbelül 45 fokos szöget alkot.

Mezair:

Levade-ba emelkedő ló, hátulsó lábával előre ugrik.

Courbette:

Levade-ből induló, többszörös meredek irányú felugrás, az elülső lábak földre érése nélkül.

Ballotade:

Piaffé-ből induló, előre térő vízszintes felugrás.

Capriole:

Piaffé-ből hajlított lábakkal történő felugrás, majd a hátulsó lábakkal vízszintes irányú, teljes erőből történő egyenes kirúgás.

Napjainkban már több különböző digitális mozgásvizsgáló rendszer létezik, amelyek közül a hagyományos videokamerákat alkalmazók azt is lehetővé teszik, hogy a ló mozgását akár futószalagon is felvegyék.

A futószalagon mozgó lóról készült felvételek és az azt követő elemzések értékes információkat szolgáltatnak a végtagok és az ízületek mechanikájára vonatkozólag, ami különösen fontos lehet a sántaság vizsgálatakor, és kiemelkedő szerepe van a pontos diagnózis felállításában. A normális mozgás elemzésének egyik igen jelentős célja, hogy a fiatal állatok vizsgálatával előrejelzést kapjunk a felnőttkori teljesítményre vonatkozóan. A törekvések ellenére ez a cél még távolinak tűnik. Egyelőre még nem fejlődött ki ezeknek az adatoknak a talaján számottevő módszerbeli változás sem a tréningbe állítás, sem pedig magának a tréningnek a tekintetében.

A Spanyol Lovasiskola

A 19. századtól kezdve a díjlovaglás irányítását Bécs veszi át és fejleszti szilárd, klasszikus alapokon, soha nem látott tökéletes szintre. A bécsi Spanyol Lovasiskolában kikristályosodott alapelvek, kikísérletezett és gyakorlatban alkalmazott kiképzési módszerek uralkodnak ma is. Ezek segítségével dolgoznak a legújabb kor nagy díjlovas egyéniségei és győznek az olimpiákon.

A bécsi spanyol iskola a világ egyetlen intézménye, mely művészi eredetiségében őrzi a lovas tradíciókat. Erre a kis szigetre mentették évezredek tapasztalatait, hogy válogatott származású ménekkel mutassák be a művészettel megzabolázott erőt, a könnyedség balettszerű harmóniáját, a ló szépségét.

Természetes, hogy ezeknek a csodalényeknek az idomításában mindent megadtak, amit az évezredek során Xenophón és társai csak kitaláltak. A tö-



kéletes engedelmességhez, a természetes jármódokban való hihetetlenül könnyed mozgáshoz azonban új elem is csatlakozott: az, ami a harcban és a lovagi tornában a fölényt biztosította. A váratlan fordulatok perdüléssel, az ellenség meglepése szökellésekkel, mint a **mezair** és **courbette**. Az ellenség fölé kerekedés **levade**-dal, végül az ugrással kombinált rúgások, mint a **ballotade** és a **capriole**.

Itt minden ló szívesen jön be a lovardába és kedvvel végzi munkáját. A munka tervszerű, következetes, és mindenekelőtt fokozatos felépítésű. Sohasem követelnek olyat, amire a lovat megfelelő tornáztatással, célgyimnasztikával elő ne készítették volna. Nincs szükség erőlködéssre. Mire eljut egy nehéz magasiskolai feladat végrehajtásához, olyan izomerővel, ügyességgel rendelkezik, hogy kényszerítő eszközök alkalmazása nélkül, könnyedén végre tudja hajtani. Természetesen elsőre ez sohasem tökéletes, de a további gyakorlás, csiszolás sem vált ki belőle fáradtságot, fásult közönyt.

Így alakul ki a Spanyol Iskola gálaelőadásának vagy az olimpiai díjlovaglás győztes programjának leírhatatlanul könnyed eleganciája, a puha, laza és mégis tökéletesen fegyelmezett, szinte balettszerű mozgás. Pedig a lovas szinte mozdulatlan. Mintha a ló mindent magától hajtana végre.



A bécsi Spanyol Lovasiskola



Ajánlott irodalom

ANATÓMIA

- Fehér György*: A háziállatok funkcionális anatómiája. Bp.: Mezőgazda K., 2000.
- Szunyoghy András*: A ló művészeti anatómiája. Bp.: Kossuth K., 2003.
- Aschdown, Raymond R. – Done, Stanley*: Color Atlas of Veterinary Anatomy – The Horse. Philadelphia: J. B. Lippincott Company, 1987
- Aschdown, Raymond R. – Done, Stanley*: Topographische Anatomie des Pferdes. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1998.
- König, Horst E. – Liebich, Hans-Georg*: Veterinary Anatomy of Domestic Mammals. Schattauer, 2004.
- Salomon, Franz-Viktor*: Lehrbuch der Geflügelanatomie. Jena – Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1993.
- Wissdorf, Horst – Gerhards, Hartmut – Huskamp, Bernhard – Deegen, E.*: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. Alfeld – Hannover: Verlag M.&H. Schaper, 2002.

MOZGÁSELEMZÉS

- Szőke Annamária – Beke László*: Székely Bertalan mozgástanulmányai. Bp.: Magyar Képzőművészeti Főiskola – Balassi K., 1992. (Tartóshullám)
- Althouse, C. Gary – Auer, J. A.*: The description of a treadmill and its use in clinical equine research. *Southwest Veterinary*, 38(1987): 40–46.
- Back, Willem – Clayton, Hilary M.*: Equine locomotion. London: W. B. Saunders, 2001.
- Back, Willem – van der Bogert, A. J. – Weeren, P. R. – van Bruin, G. – Barneveld, A.*: Quantification of the locomotion of Dutch Warmblood foals. *Acta Anatomica*, 146(1993): 141–147.
- Grant, B. D.*: Performance prediction. *Equine Veterinary Data* 13(1992): 226–227.
- Kobulek, C. N. – Schnurr, D. – Horney, F. D. – Sumner-Smith, G. – Willoughby, R. A. – Deekler, V. – Heam, T. C.*: Use of high-speed cinematography and computer generated gait diagrams for the study of equine hindlimb kinematics. *Equine Veterinary Journal*, 21(1989): 48–58.

- Marey, Etienne-Jules*: La machine animale, locomotion terrestre et aérienne. Paris: Germer Baillière, 1873.
- Mitchelson, D. L.*: Automated three dimensional movement analysis using the CODA-3 system. *Biomedizinische Technik* 33(1988): 179–182.

LOVAS KÖNYVEK

- Széchenyi István, gróf*: Lovakról. Pesten, 1828; Hasonmás kiad. [Bp.]: M. Lóverseny Váll., 1978.
- Széchenyi Dénes, gróf*: Adalékok a lovaglás tanításához. Pest, 1871; Bp.: Agroinform, 1987.
- Wesselényi Miklós, báró*: Teendők a lótenyésztés körül. Kolozsvárott, 1847; Bp.: Mezőgazdasági K., 1985.
- Erdődy Pálffy Zsigmond, gróf*: A lovaglás vezérfonala. Bp.: Szent György Képes Sportlap kiadása, 1937; Bp.: Agroinform, 1987.
- Pettő-Szandtner Tibor*: A magyar kocsizás. Bp.: Bíró Miklós Nyomdai Műintézet, 1931.
- A ló története. História*, 27(2005): 1–2. sz.
- Dallos Gyula*: Dallos Gyula lovasiskolája. Bp.: Obender & Co. Studio Kft., 1998.
- Ernst József*: Százhetven év versenyben, tenyésztésben. Bp.: Dinasztia K., 1997.
- Ernst József – Fehér Dezső*: Sérülések és balesetek megelőzése a lovak körül. Bp.: Mezőgazdasági Szaktud. K., 1998.
- Ernst József – Fehér Dezső – Ócsag Imre*: Magyar lovaskönyv. [Bp.]: Natura – Corvina, 1988.
- Fehér Dezső – Török Imre*: A magyar lóversenyzés története, 1827–1977. [Bp.]: Natura, 1977.
- Fehér Dezső – Török Imre*: A verhetetlen Kincsem. Bp.: Natura, 1974.
- Fehér Dezső – Török Imre*: Százéves a magyar ügetőversenyzés, 1883–1983. Bp.: Mezőgazdasági K. – M. Lóverseny Váll., 1983.
- Győrffy-Villám András – Hecker Walter – Jankovics Marcell – Szelestey László*: Lovas nemzet. Bp.: Helikon K., 2004.
- Podhajsky, Alois*: Ein Besuch in der spanischen Reitschule. München: Nymphenburger Verlagshandlung, 1972.
- Radó Oszkár – Sívó Róbert*: Kincsem, Aranyos, Imperial és a többiek...: A lovassport krónikája. Bp.: Sport, 1966.
- Török Imre – Fehér Dezső – Toldy Ferenc*: Lovagoljunk – de hogyan? Bp.: Natura, 1973.